

# 강판의 곡가공 자동화를 위한 수치제어 시스템

이주성, 신성민  
울산대학교 수송시스템공학부

## Numerical Control System for the Automation of Steel Plate Forming

JOO-SUNG LEE and SUNG-MIN SHIN  
School of Transportation System Engineering, Univ. of Ulsan

**Key words** : automatic plate forming system 곡가공 자동화 시스템, heating line information 가열선 정보, automatic heating apparatus 자동가열장치, control program 제어 프로그램, multi-motion controller 다운동제어기

### Abstract

In this paper the automatic plate forming system developed by the present research group is introduced, which would be helpful for other researchers. The present system consists of three parts : heating line information generation software, automatic heating apparatus and numerical control system. The numerical control system developed by the present authors is detailed. Performance test for the developed system has been carried out and good results has been obtained. As an extension of the present study, the present automatic plate forming system will be applied to surfaces found in ship and offshore structure.

## 1. 서 론

선박이나 해양구조물의 외관을 구성하는 곡면의 가공은 이의 효율성 향상은 성형공정의 생산성과 직접적인 관련이 있는 만큼 건조공정에서 상당히 중요한 위치를 차지하고 있다(이주성, 1995, 1996). 따라서 이 공정의 자동화에 대한 필요성을 절실히 인식되고 있으나 아직까지 실용화된 연구결과는 보고되지 않은 실정이다. 강판의 곡가공 자동화 시스템 구축에 필요한 중요한 부분은 Software 측면에서는 가열선 정보 (heating line information)를 자동으로 생성하는 전산시스템 그리고 Hardware 측면에서는 자동가열장치의 설계 및 제작이며 또 하나의 Software로서 가열선 정보의 자동 생성 전산시스템과 자동가열장치 사이에 정보를 교환하고 또한 자동가열장치의 구동을 위한 제어 프로그램이다.

본 논문에서는 저자들이 속한 연구 그룹에서 자체 설계하여 제작한 자동가열장치를 포함한 강판의 곡가공 자동화 시스템의 구성에 대한 개요를 소개하였고, 가열선 정보 자동 생성 프로그램의 결과를 자동가열장치에서 구현할 수 있도록 제어하는 Interface Program으로서 개발된 제어 프로그램의 배경이 되는 부분과 이의 기능에 대해 기술하였고 성능 시험을 수행한 결과에 대해 기술하였다.

도를 보여 주는데, 이는 가열선 정보를 자동적으로 생성하는 프로그램 모듈, 제어를 위한 프로그램 모듈 그리고 DB 구축을 위한 모듈로서 크게 3개의 프로그램 모듈로 구성되어 있고 이들은 프로그램 모듈들을 관리하는 프로그램에 의해 통합적으로 관리된다. 다. 본 논문에서 다루는 제어 프로그램은 세부적으로는 변위계측 제어, 온도 계측제어와 자동가열장치의 구동으로 구분된다. 본 자동가열장치는

- main frame
- control PC system
- model bed
- 변위계측장치
- 온도계측장치
- 기타 부수적인 장치

등으로 구성되어 있고, Main frame은 3D frame type으로서 3개의 구동 모터가 있으며 MMC (multi-motion controller) board를 통해 제어된다. Table 1에는 PC에 장착된 MMC board의 사양을 열거하였고 레이저 온도계측 장치에 대해서는 Table 2에 보였다. 가장 중요한 장치 중 하나인 변위계측장치는 비접촉식 레이저 센서로서 Table 3에 그 사양을 표시하였다. 본 자동가열장치의 xy 평면에서의 이동범위와 최대 이동속도가 Table 4와 같고, 가공이 가능한 최대 강판의 크기는 가로 ×세로 = 2,300×1,200mm 이다.

## 2. 강판의 곡가공 자동화 시스템

Fig.1은 본 연구실에서 구축하고 있는 자동화 시스템의 계통

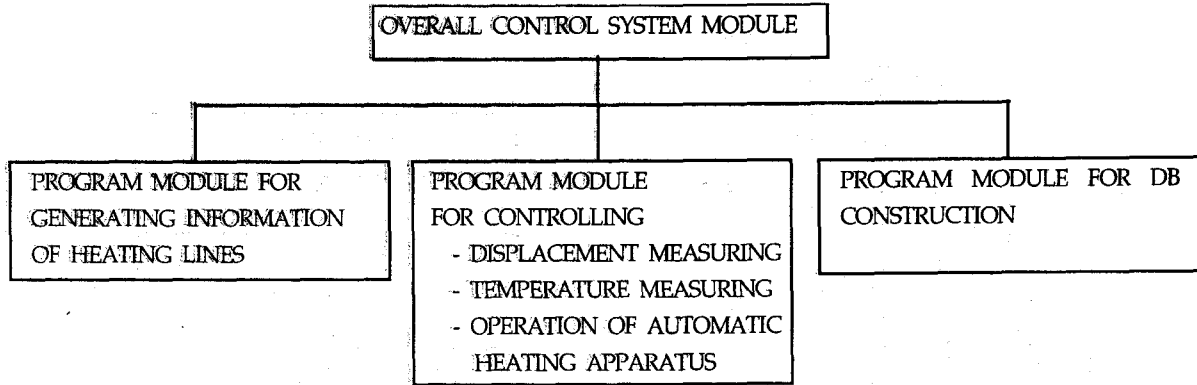


Fig.1 Overall of the present system automatic plate forming system

Table 1 Specification of multi-motion controller (MMC)

Item	Specification
Size	325×110mm
Environment condition	0~50℃, 20~95% RH
Velocity profiles	trapezoidal shape, spline curve shape
acceleration time	0~200 (0~2sec)
operation range	32-bit, ±2147483647
operation method	PTP, arc, linear & spline interpolation

Table 4 Moving range and maximum moving speed of the present heating apparatus

axis	moving range (mm)	max. speed (mm/sec)
x	2,420	140
y	1,350	120
z	420	90

Table 2 Specification of portable IR thermometer

Item	Specification
Accuracy	±0.5% of rdg +1℃/2°F
Dimension	200×180×80mm
Weights	0.8kg
Thermocouple measuring range	from 0℃ to 1760℃
Resolution	-0.1℃

Table 3 Specification of displacement measuring apparatus

Item	Specification
Operating temperature	-0 to +40℃
Measure range	200mm
Clearance	160mm
Resolution	50 $\mu$ m
Accuracy	±0.5mm
Size of measure point	0.7×2.0mm
Weight	680g

### 3. 제어 프로그램

#### 3-1 일반

본 곡가공 자동화 시스템의 제어 프로그램은 Fig.1에 보인 자동가열장치의 구동과 변형량 계측 등을 위한 것으로서, x, y 및 z 방향으로의 위치 및 속도를 제어하는 3축 제어 시스템이다. Torch tip이 강판에 수직을 유지하도록 제어하기 위해서는 5축 제어가 필요하나 이를 위한 기구의 구성이 용이하지 않고, 본 연구그룹에서 구축하고 있는 자동화 시스템에서는 곡률이 비교적 크지 않은 곡면을 대상으로 하기 때문에 z축 방향으로의 상하방향으로의 제어만을 다루도록 하였다.

제어를 위한 Panel로는 MMC board에 내장된 제어함수를 사용하였고 컴퓨터 언어로는 C++을 이용하여 프로그램을 개발하였다. 가열 전 강판의 형상을 인식하거나 가열 후 변형량을 계측하는 데에 효율을 높이기 위해 Fig.2에 보인 것처럼 Zig-zag 로 이동할 수 있도록 하였다. 어느 점에서 다른 한 점으로 이동시 가·감속은 Fig.3에 보인 대칭형 사다리꼴 형식에 따랐다. 이 경우 변위를 계측할 때에는 문제가 되지 않으나 가열 시에는 강판과 Torch tip 사이의 거리를 일정하게 유지하도록 하기 위해 가열선을 다 수의 선소 (line segment)로 나누어서 이동하고 강판의 표면까지의 거리를 계측한 후 z 축을 제어하도록 하였기 때문에 중간 이동 점에서 정지 후 가속에 따른 부분적인 점가열 (spot heating)이 발생할 수 있지만, 실제 실험결과에 의하면 그 영향은 무시할 수 있을 정도였다.

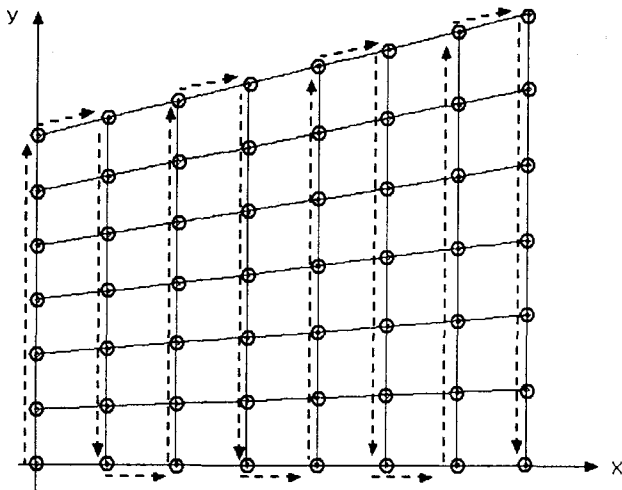


Fig.2 Moving path for displacement measuring

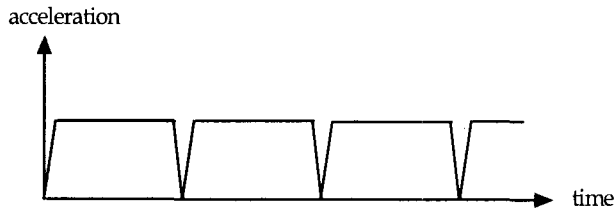


Fig.3 Trapezoidal shape acceleration mode

### 3-2 제어 프로그램의 구성

제어 프로그램은 Fig.4에 보인 강판의 곡가공 과정을 구현할 수 있도록 구성하였다. 우선 강판의 초기형상을 계측하고 목적곡면과 비교해서 가열위치와 가열속도 등 가열선 정보를 산출하며 이를 위치제어에 필요한 Data로 변환된다. 가열과 냉각이 진행되는 동안 특정 위치에서의 온도를 계측하며 냉각과정이 완료된 후 변형형상을 계측하고 그 결과를 목적곡면과 비교하여 만족할 만큼 성형이 이루어 졌는지 확인하는 과정이 반복된다. 전술한 바와 같이 가열이 진행되는 동안 강판의 표면과 Torch tip 사이의 거리를 일정하게 유지하도록 가열선을 다수의 선소로 나누어서 거리계측과 제어를 동시에 이루어지도록 구성하였다. 변형형상이나 온도 등에 대한 계측자료는 모델별로 DB화하여 향후 이용할 수 있도록 하였다.

Fig.5는 본 연구에서 개발한 제어프로그램을 실행했을 때 보이는 주 화면으로서 Fig.4에 보인 곡가공의 순서도에 의거하여 단계별로 성형작업이 진행되도록 구성되어 있다. 이러한 과정이 거치면 각 모델에 대해 모델 이름, 초기형상, 가열선 정보 그리고 각 가열선에 따른 가열 및 냉각 후 변형형상이 DB 시스템에 저장된다. Fig.6은 가공 대상 모델에 대한 기본 정보와 함께 계측자료들을 저장하는 프로그램의 주 화면을 보여주는 데, 'DATA INPUT' 버튼을 클릭하면 모델에 대한 기본 정보와 격자점에서의 초기변형 및 가열 후 변형형상이 Excel 파일

형식으로 저장된다.

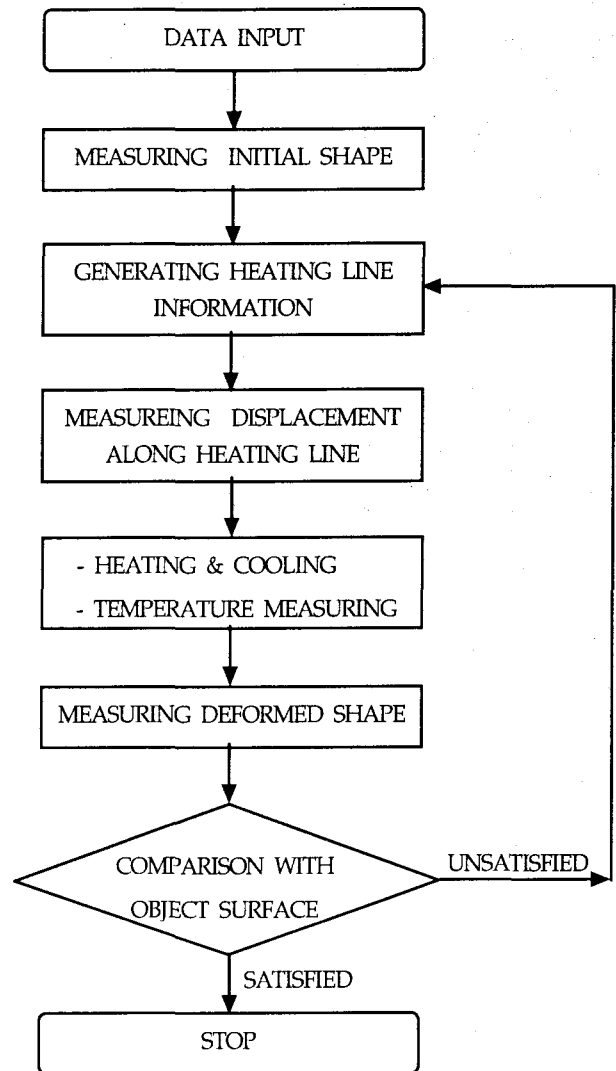


Fig.4 Overall flow of automatic line heating system

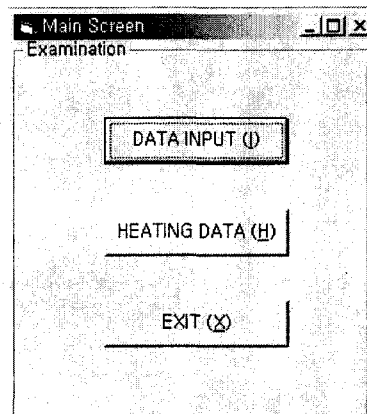


Fig.6 Main window for DB system

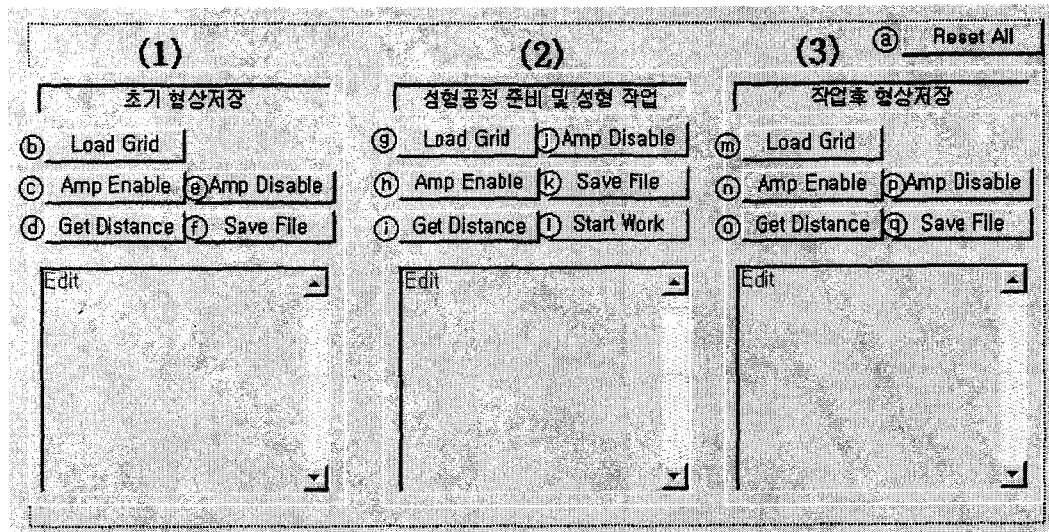


Fig.5 main window of control program module

### 3-3 제어 성능 시험 결과

본 연구를 통해 구축된 자동화 시스템을 구동하였을 때 위치와 속도제어에 대한 성능평가를 위해 다양한 이동거리와 속도의 경우에 대한 실험을 수행하였고, 그 결과를 Table 5에 정리하였다. Table 5에서의 숫자들은 입력한 값에 대한 실제 구동되었을 때 계측한 값의 비율로서 표시한 것이다. 이동거리에 대한 제어의 오차는 y 방향에 대해서는 거의 오차가 없었으며 x 방향에 대해 최대 0.2%, 실제거리로는 1.6mm이하로서 거의 정확한 결과를 주고 있다고 볼 수 있으며, 오차가 큰 경우는 이동거리가 상대적으로 짧은 경우인데, 이는 성능 평가 시험 중 계측상의 오차 때문으로 보인다. 한편 속도에 대한 제어는 최대 약2%까지 오차가 발생하여 이동거리에 대한 제어에 비해 상대적으로 크며, 특히 이동속도가 낮을 때 더 큰 오차가 발생함을 볼 수 있다. 이는 가감속에 의한 영향과 함께 본 자동가열장치의 Torch 쪽에 가스, 산소 및 냉각수를 공급하는 호스들의 영향 때문으로 보여진다. 그러나 이러한 성능평가 결과를 토대로 제어 프로그램에 포함된 속도를 제어하는 변수들의 값을 보정해 주면 이러한 오차는 대폭 감소시킬 수 있을 것으로 보인다.

## 4. 결 언

본 논문은 강판의 곡가공 자동화 시스템 구축을 위해 자동가열장치의 구동을 제어하고 자동가열장치와 가열선 정보 생성 전산시스템 사이의 정보 교환을 위한 제어 프로그램의 개발에 대해 다루었다. 여기에서는 구축된 자동화 시스템에 대한 개요와 제어 프로그램의 기본적인 개념 등에 대해 기술하였으며 개발된 제어 프로그램에 따라 수행한 성능을 평가한 결과에 대해 언급하였다.

본 연구를 통해 구축된 자동화 시스템은 실제 곡면모델에 대한 실험을 수행해서 그 실용적 적용 가능성을 확인해야 할 것인데, 이는 본 논문의 후속 연구내용으로서 추후 발표할 예정이다. 여기에서 기술한 강판의 자동화 시스템 구축을 위한 제어 프로그램의 개발에 관한 내용은 이와 유사한 연구 수행이 참고 자료가 될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 고대은, 장장두, 서승일, 이해우(1999), "곡가공 자동화시스템을 위한 선상가열에 의한 변형의 실시간 시뮬레이션", 대한조선학회논문집, 36권 4호, pp.116-127
- 신중계(1992), "선상가열에 의한 평판가공 Simulator 연구", 대한조선학회논문집, 29권 1호, pp.191-200
- 이박인, 류희승, 변구근, 김학근(2002), "열강가공에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템", 대한조선학회논문집, 제39권 2호, pp.34-43
- 이주성(1995), "강판의 곡가공을 위한 Marking 자동생성 시스템 개발", 현대중공업-울산대학교 산학협동연구보고서
- 이주성(1996), "선상가열법에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템 (II)", 대한조선학회논문집 33권 3호, pp.81-93
- Lee, J.S.(1996) "Development of the Automatic Marking Generation System for the Plate Forming by Line Heating", J. Ship Production, SNAME, vol.12, no.4, pp.247-253
- 이주성(1997), "선상가열법에 의한 강판의 곡가공 자동화 시스템 (III)", 대한조선학회논문집 34권 2호, pp.85-89

Table 5 Performance test results of automatic heating apparatus

(1) x-axis direction

Moving distance (mm)	ratio	Speed (mm/sec)				
		400	600	800	1,000	1,200
600	distance ratio	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
	speed ratio	1.009	1.008	1.008	1.008	1.009
800	distance ratio	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
	speed ratio	1.009	1.008	1.008	1.008	1.009
1,000	distance ratio	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
	speed ratio	1.009	1.008	1.008	1.008	1.009
1,200	distance ratio	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
	speed ratio	1.009	1.008	1.008	1.008	1.009
1,600	distance ratio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	speed ratio	1.009	1.008	1.008	1.008	1.009

(2) y-axis direction

Moving distance (mm)	ratio	Speed (mm/sec)				
		400	600	800	1,000	1,200
400	distance ratio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	speed ratio	0.993	0.985	0.993	0.980	0.981
550	distance ratio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	speed ratio	0.999	0.999	0.999	0.995	0.987
600	distance ratio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	speed ratio	0.999	1.002	1.003	0.997	0.999
650	distance ratio	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	speed ratio	1.001	0.998	0.997	0.999	1.001

[note] ratio = (measured value) / (input value)